

EXPORTATIONS MINÉRALES DU COTONNIER ET DE QUELQUES CULTURES TROPICALES EN ZONE DE SAVANE AFRICAINE *

par

M. DEAT¹, J. DUBERNARD², A. JOLY³ et G. SEMENT⁴

RÉSUMÉ

Traditionnellement, l'estimation des exportations en éléments minéraux réalisées par les cultures se fait à partir du rendement en partie utile et de normes d'exportations ramenées à une production de 1 000 kg/ha de produit récolté.

Certains résultats obtenus par l'I.R.C.T. en Afrique tropicale (au Cameroun, en Côte d'Ivoire et au Dahomey) montrent que ce mode de calcul conduit à de grossières erreurs dans le contexte de l'agriculture semi-intensive actuellement pratiquée en savane africaine.

En effet, l'étude des principales causes de variabilité met en évidence la forte influence des facteurs écologiques sur :

- a) la quantité de matière sèche réellement exportée et le rapport entre produit récolté et appareil de production ;
- b) la composition élémentaire des différentes parties de la plante (en particulier pour N et K).

Ces observations conduisent à proposer une méthode de mesure des exportations minérales pour chaque situation écologique, à la fois simple à mettre en œuvre et suffisamment précise.

Quelques résultats obtenus sur cotonnier, sorgho et arachide, sont présentés, ainsi qu'un exemple d'application au calcul de bilans minéraux approchés, qui constituent, avec les analyses de terre et le diagnostic foliaire, un faisceau d'informations indispensables à l'étude des problèmes de fertilisation minérale et de maintien de la fertilité dans le cadre des systèmes de culture africains. Ces résultats attirent également l'attention sur les quantités considérables de cations et d'azote mobilisées par les résidus de récolte, dont l'enfouissement serait une pratique essentielle pour limiter la dégradation des sols et économiser des engrais.

CRITIQUE DE L'UTILISATION DU CALCUL DES EXPORTATIONS MINÉRALES A PARTIR DU PRODUIT AGRICOLE RÉCOLTÉ

Les différents auteurs qui ont étudié les exportations d'éléments minéraux par une culture ont exprimé leurs résultats en fonction du produit agricole récolté. A propos du cotonnier, nous citerons les chiffres proposés par CHRISTIDIS (1) pour une récolte de 570 kg/ha de coton-fibre (soit environ 1 500 kg/ha de coton-graine) :

N = 48,5 kg,
P = 5,6 kg,
K = 26,7 kg,
Ca = 6,5 kg,
Mg = 23,2 kg.

* Communication présentée au 8^e Congrès international des Engrais chimiques. Moscou, 1976.

1 et 4: Agronomes, Station I.R.C.T. de Bouaké, Côte d'Ivoire.

2: Agronome I.R.C.T., Station I.R.A.F.-Nord, Maroua, Cameroun.

3: Agronome I.R.C.T., Montpellier, France.

Ceci laisse penser que la seule connaissance du poids de produit récolté permet de connaître les quantités d'éléments minéraux exportées par la culture.

Si une telle démarche peut en partie se justifier dans le contexte d'une agriculture hautement mécanisée, où seul le coton-graine est effectivement exporté, elle paraît plus contestable actuellement en Afrique Tropicale où l'absence de motorisation ne permet pas l'enfouissement des résidus de récolte et conduit à exporter la totalité des parties aériennes des plantes. Une étude (2) réalisée à Maroua (Cameroun) en 1972, sur des parcelles de cotonniers dont les rendements variaient de 1 200 à 2 600 kg/ha de coton-graine, montre qu'il n'existe aucune relation valable entre le rendement en coton-graine et les exportations réelles.

L'un des buts de cette étude est de montrer que les facteurs écologiques agissent aux différents stades de

Tableau 1. — *Corrélation entre rendement en coton-graine et exportations en éléments minéraux par les parties aériennes des cotonniers. Maroua (Cameroun), 1975.*

	N	S	P	K	Ca	Mg
Coefficients de corrélation	0,301	0,460	0,349	0,129	-0,042	0,052
Seuil de signification à P = 0,05	r = 0,632					

l'évaluation des exportations, soit sur la composition élémentaire du plant, soit sur le rapport entre produit récolté et appareil de production. On a également cherché à mettre en évidence une certaine hiérarchisation des causes d'erreur et à montrer que les résultats obtenus dans un milieu donné sont difficilement

extrapolables dans le temps et dans l'espace.

L'autre but est de proposer une méthode d'évaluation des exportations en éléments minéraux dont la relative simplicité rende l'application possible à chaque situation écologique, afin de multiplier les informations régionales.

CAUSES DE VARIABILITÉ DANS L'ESTIMATION DES EXPORTATIONS

Variabilité du rapport entre produit récolté et biomasse totale exportée

L'importance relative du produit récolté par rapport à la masse totale de matière végétale exportée (récolte + appareil de production) varie d'une espèce à l'autre (tableau 2). Mais à l'intérieur d'une même espèce, cette proportion peut varier considérablement

en fonction des facteurs du milieu (climatiques, nutritionnels, phytosanitaires) ou de facteurs génétiques (variétés). Pour le cotonnier, l'amplitude des variations est accentuée par la sensibilité de cette plante aux attaques parasitaires qui fait qu'*aucune liaison générale ne peut être établie entre le rendement en coton-graine et la biomasse totale exportée.*

Tableau 2. — *Moyennes et variations extrêmes observées du poids relatif du produit récolté, exprimé en pourcentage de la biomasse totale exportée (poids secs).*

Plantes	Situations	Moyenne (%)	Valeurs extrêmes (%)	Biomasse totale exportée (t/ha)
Cotonnier	Cameroun			
	1971	22,6	18,0 à 31,8	5,6
	1972	41,3	28,3 à 63,7	5,2
	1974	38,8	35,5 à 43,3	4,1
	Côte d'Ivoire			
	1973	31,8	19,0 à 50,3	5,3
	1974	39,6	22,9 à 50,8	4,1
	Dahomey			
	1973	40,7	30,1 à 47,0	3,4
	1974	33,2	23,7 à 49,6	3,4
Arachide	Dahomey			
	1973	58,2	48,4 à 70,7	2,4
	1974	39,2	25,8 à 43,5	3,3
Sorgho	Dahomey			
	1973	13,5	8,1 à 21,3	5,7
	1974	15,8	10,7 à 27,0	4,9
	Cameroun			
	1972	31,2	30,4 à 32,9	13,2
	1974	53,2	—	6,3

Par ailleurs, lorsqu'on se base sur le rendement en produit frais pour calculer les exportations, la teneur en eau du produit récolté est un autre facteur d'erreur important. A titre d'exemple, si la teneur en eau du coton-graine et du sorgho-grain se situe autour de 10 % à la récolte, il n'en est pas de même en ce qui concerne l'arachide dont les gousses à la récolte contiennent entre 40 et 60 % d'eau.

Variabilité de la composition élémentaire du cotonnier

La variabilité de la composition élémentaire d'une espèce végétale est étudiée en prenant le cotonnier comme exemple, mais des observations identiques ont été faites sur sorgho et arachide.

Composition moyenne des différentes parties exportées

Une étude (4) réalisée à Bouaké (Côte d'Ivoire) donne la composition indiquée dans le tableau 3.

Tableau 3. — Teneur en éléments minéraux des parties exportées du cotonnier (en % de la matière sèche). Bouaké (Côte d'Ivoire), 1973.

	N	S	P	K	Ca	Mg
Tiges + branches + débris	0,58	0,05	0,04	1,10	0,66	0,13
Carpelles	0,78	0,25	0,17	2,87	0,47	0,12
Fibre	0,35	0,07	0,04	0,47	0,27	0,09
Graines non délintées	3,24	0,23	0,45	1,01	0,29	0,27

Tableau 4. — Composition élémentaire moyenne des parties exportées du cotonnier (Cameroun, Côte d'Ivoire, Dahomey).

Teneurs en % de la matière sèche	N	S	P	K	Ca	Mg
Graines non délintées	2,74	0,23	0,47	1,10	0,16	0,29
Reste de l'appareil aérien exporté	0,83	0,14	0,12	1,24	0,60	0,17

Influence des conditions écologiques de l'année

L'évolution de la composition élémentaire des différentes parties du cotonnier, en fonction de l'année, a été suivie dans certains essais pluriannuels et elle montre que les teneurs en éléments minéraux du coton-graine et du reste des plantes peuvent être fortement influencées par les conditions écologiques de l'année (cf. tabl. 5).

Influence de la richesse du milieu

La richesse du milieu varie essentiellement, selon le type de sol et selon le mode d'exploitation (durée d'exploitation, fertilisation minérale, etc.).

On notera la richesse des graines en N, P et S et la richesse en K des carpelles.

La fibre cellulosique, essentiellement constituée de C et H, n'exporte du sol que des quantités négligeables d'éléments minéraux.

Compte tenu de ces observations, les analyses ont été réduites à :

- a) graines non délintées ;
- b) reste de l'appareil aérien (tiges + branches + carpelles + débris).

La composition moyenne, obtenue sur 63 observations réparties sur trois années et dans trois pays (Cameroun, Côte d'Ivoire, Dahomey), est indiquée dans le tableau 4.

Mais cette composition moyenne recouvre, en fait, des variations assez importantes dont nous avons essayé ci-dessous d'analyser les causes.

Type de sol

Au Dahomey (6), deux sols ferrugineux tropicaux, l'un sur schistes, l'autre sur gneiss, présentent des taux de matière organique très différents ; les teneurs en N des cotonniers cultivés sur ces deux sols sont également assez éloignées (cf. tabl. 6).

Fumure minérale

L'application d'engrais peut également modifier la composition de la plante, soit en augmentant les teneurs en éléments minéraux, soit en diminuant ces teneurs par un effet de dilution. Parfois, la composition reste stable. Ces diverses situations sont illustrées par le tableau 7.

Tableau 5. — *Effet des conditions écologiques de l'année sur la composition élémentaire du cotonnier.*

Composition en % de matière sèche	Cameroun (Maroua)		Dahomey (Alfak.)	
	1972	1974	1973	1974
Graine :				
N	2,98	3,05	2,33	4,05
S	0,25	0,19	0,29	0,19
P	0,65	0,61	0,41	0,53
K	1,31	1,28	0,97	1,16
Ca	0,21	0,13	0,13	0,18
Mg	0,32	0,33	0,30	0,37
Reste des plants :				
N	0,95	0,77	0,94	0,73
S	0,20	0,23	0,11	0,09
P	0,18	0,21	0,11	0,09
K	1,50	2,68	1,01	0,77
Ca	0,65	0,53	0,70	0,57
Mg	0,20	0,15	0,11	0,15

Tableau 6. — *Niveau de l'azote et du carbone dans le sol et teneur en N des cotonniers. Dahomey, 1973.*

	Dassari	Sinawararou
Roche-mère	Schistes	Gneiss
N organique dans le sol (horizon 0-20)	0,90 %	0,41 %
C organique dans le sol (horizon 0-20)	12,3 %	4,5 %
N organique dans les graines de coton	2,90 %	1,92 %
N organique dans le reste des plants	0,93 %	0,70 %

Tableau 7. — *Effet de la fumure minérale sur la composition du cotonnier.*

Composition en % de matière sèche	Côte d'Ivoire				Cameroun	
	Bouaké		Brobo Niakara		Maroua 1974	
	Témoin sans engrais	Fumure 85 N 10 P 90 K	Témoin sans engrais	Fumure 85 N 40 P 80 K	Dose faible 32 K 40 N 40 P	Dose forte 60 N 60 P 48 K
Graine :						
N	3,39	3,72	2,01	1,58	—	—
S	0,26	0,24	—	—	—	—
P	0,39	0,42	0,34	0,29	—	—
K	0,82	0,99	0,87	0,85	—	—
Ca	0,36	0,32	0,12	0,11	—	—
Mg	0,27	0,28	0,19	0,17	—	—
Reste des plants :						
N	0,66	0,60	0,79	0,63	1,52	1,78
S	0,15	0,14	—	—	0,20	0,28
P	0,06	0,07	0,12	0,07	0,16	0,22
K	1,52	1,94	1,23	1,11	1,36	1,56
Ca	0,56	0,56	0,59	0,46	0,84	0,68
Mg	0,14	0,12	0,14	0,12	0,28	0,28

Influence relative de l'écologie et de la richesse du milieu

L'amplitude des variations de la composition élémentaire des différentes parties du cotonnier se déduit des tableaux précédents et permet de faire la part de l'incidence respective de chacun de ces deux facteurs.

Tableau 8. — *Amplitude de variation autour de la composition élémentaire moyenne du cotonnier, sous l'influence de l'écologie ou de la richesse du milieu (en % de la moyenne).*

Partie du cotonnier	Elément	Amplitude de variation due	
		à l'écologie (effet année)	à la richesse du milieu
		(%)	(%)
Graine	N	± 26,9	± 12,0
	S	20,8	4,0
	P	12,8	7,9
	K	8,9	9,4
	Ca	23,5	5,9
	Mg	10,4	5,6
Tiges + branches + carpelles	N	± 12,6	± 11,3
	S	10,0	16,7
	P	10,0	26,3
	K	28,2	12,1
	Ca	10,2	12,4
	Mg	15,4	7,7

A titre indicatif, si l'on applique ces variations au calcul des exportations d'un champ de coton ayant

produit 4,5 t de matière sèche (1,5 t de coton-graine + 3 t de résidus), ce qui correspond à la moyenne de nos observations, on aboutit aux fluctuations suivantes :

Tableau 9. — *Amplitude de variation des exportations minérales du cotonnier sous l'influence de l'écologie ou de la richesse du milieu (en kg/ha d'éléments).*

Partie du cotonnier	Elément	Amplitude de variation due	
		à l'écologie	à la richesse du milieu
		(kg/ha)	(kg/ha)
Graine	N	± 12,9	± 3,2
	S	0,8	0,2
	P	0,9	0,4
	K	1,4	1,3
	Ca	0,6	0,3
	Mg	0,5	0,2
Tiges + branches + carpelles	N	± 3,2	± 2,4
	S	0,3	1,2
	P	0,3	0,8
	K	17,7	6,3
	Ca	2,0	2,0
	Mg	0,6	0,3

L'influence des conditions écologiques de l'année, en agissant principalement sur l'alimentation hydrique, est donc dominante. C'est particulièrement net pour l'azote du coton-graine et le potassium des résidus.

MÉTHODOLOGIE PROPOSÉE POUR LA DÉTERMINATION DES EXPORTATIONS

Les observations précédentes montrent la nécessité de renouveler annuellement les mesures et de procéder en deux étapes pour la détermination des exportations, en passant par deux échantillonnages successifs destinés à déterminer avec une précision suffisante :

- la quantité de matière sèche produite par hectare ;
- la composition élémentaire de cette matière végétale.

Détermination de la quantité de matière sèche produite

La détermination de la quantité de matière sèche produite passe par le calcul du nombre minimal de plants à prélever en recherchant une précision de 10 %, suffisante à notre avis, pour l'objectif à atteindre. Le critère observé est le poids d'un plant.

Cet échantillonnage doit être fait dans chaque situation, car la plus ou moins grande homogénéité de la population des plants va influencer très forte-

ment le résultat. Une application de cette méthode, faite dans un milieu particulièrement hétérogène (2), a donné les résultats suivants :

Tableau 10. — *Nombre de plants à prélever pour la détermination de la quantité de matière sèche exportée, avec une précision de 10 %. Bébedjia (Tchad), 1973.*

Culture	Séries	Nombre de plants
Coton	1963	928
	1970	291
Sorgho	1964	277
	1966	128
	1970	107

L'application de ces résultats a conduit à peser la totalité des plants présents sur la surface utile de la parcelle.

Il est nécessaire de déterminer le poids sec de cette matière végétale au cours de cette opération, puisque les résultats d'analyses chimiques seront exprimés en pourcentage de matière sèche.

Détermination de la composition élémentaire du matériel végétal exporté

L'étude déjà citée (2) montre qu'il existe dans certains cas une relation entre la composition élémentaire du matériel végétal exporté et le développement végétatif atteint par la plante en fin de cycle : S et P pour le cotonnier, N pour le sorgho. Un compromis a été adopté en proposant de prendre un échantillon de 25 plants qui conduit, toujours dans le cadre de la même étude, aux erreurs relatives du tableau 11.

En dehors de quelques cas particuliers intéressant surtout le sorgho, on peut considérer que la précision des résultats obtenus à partir de 25 plants est acceptable.

Les observations relatives à l'influence comparée de l'écologie et de la richesse d'un milieu donné peuvent conduire, dans certains cas, à ne faire qu'une détermination de la composition élémentaire du matériel végétal par situation écologique. Par contre, il demeure important de déterminer la quantité de matériel végétal exporté dans chaque cas particulier.

A partir de l'étude (2) faite à Maroua (1972), les exportations observées réellement dans chaque situation de l'essai de rotation ont été comparées à celles qu'aurait données la méthode proposée ci-dessus (avec une seule détermination de la composition élémentaire moyenne).

La correspondance entre ces deux séries de résultats présentés au tableau 12 est bonne, hormis le cas particulier du soufre. Cette simplification permettrait de multiplier les informations régionales.

Protocole général proposé

En résumé, le protocole à suivre pour la détermination des exportations minérales dans une situation donnée est le suivant :

Première opération

A partir de 100 plants prélevés au hasard, faire une étude d'échantillonnage pour déterminer le nombre de plants par parcelle nécessaire pour estimer le poids de matériel végétal exporté, avec une précision suffisante. Résultat : n plants.

Deuxième opération

Déterminer le poids frais du matériel végétal exporté à partir du poids des n plants étudiés et de la densité réelle sur chaque parcelle.

Troisième opération

Déterminer le poids sec du matériel végétal au moment de l'opération 2, parcelle par parcelle.

Quatrième opération

Prendre un échantillon moyen des différentes parties de plantes pour l'ensemble de l'essai ou du traitement, afin d'en déterminer la composition élémentaire.

Tableau 11. — Erreur relative obtenue avec un échantillon de 25 plants/parcelle.

Parcelles Eléments analysés	Coton 63 (%)	Coton 70 (%)	Sorgho 64 (%)	Sorgho 66 (%)	Sorgho 70 (%)
N	8,0	12,0	21,0	16,5	15,0
S	10,0	14,0	4,0	21,0	6,0
P	14,5	17,0	7,0	64,0	13,0
K	9,5	5,0	9,5	12,0	8,0
Ca	6,0	5,0	8,0	9,0	10,0
Mg	9,5	12,0	10,0	11,0	12,5

Tableau 12. — Comparaison des exportations observées en 1972 à Maroua et des exportations calculées à partir d'un seul dosage par élément (kg/ha).

	N	S	P	K	Ca	Mg
Moyenne observée	82,0	13,1	16,1	91,4	35,3	14,0
Moyenne calculée	83,9	12,5	16,4	89,9	33,9	13,6
r entre les deux séries de résultats	0,768	0,426	0,691	0,960	0,971	0,672

RÉSULTATS OBTENUS

Les principaux résultats obtenus sont rassemblés dans les tableaux suivants.

Cotonnier

Tableau 13. — *Eléments minéraux exportés par une culture de cotonniers (kg/ha).*

Pays	Variété (année)	Rendement coton-graine (kg/ha)	Organes	N	S	P	K	Ca	Mg
Cameroun	BJA 592 (1972)	2 148	T + B + C *	45,6	9,4	8,4	73,7	31,5	9,6
			coton-graine	37,0	9,2	7,5	16,2	2,6	4,0
			total	82,6	12,6	15,9	89,9	34,1	13,6
	3 372 (1974)	2 623	T + B + C *	18,5	5,6	5,2	67,8	13,1	3,6
			coton-graine	48,1	3,9	9,6	20,2	5,0	5,2
			total	66,6	8,6	14,8	88,0	16,1	8,8
Côte d'Ivoire	442 (1973)	1 675	T + B + C *	22,9	—	2,1	31,5	15,3	4,1
			coton-graine	37,7	—	6,0	16,4	3,1	4,0
			total	60,6	—	8,1	47,9	18,4	8,1
	Diverses (1974)	1 624	T + B + C *	14,7	—	1,9	22,7	10,4	2,6
			coton-graine	29,5	—	4,8	14,4	1,5	2,9
			total	44,2	—	6,7	37,1	12,2	5,5
Dahomey	Diverses (1973-74)	1 244	T + B + C *	16,7	2,5	4,3	25,0	13,9	4,1
			coton-graine	20,6	1,7	7,7	6,4	1,1	2,3
			total	37,3	4,2	12,0	31,4	15,0	6,4

* T + B + C = tiges + branches + carpelles

Ce tableau illustre parfaitement la nécessité de procéder à une étude des exportations des éléments

minéraux pour une culture cotonnière dans chaque situation écologique.

Sorgho

Tableau 14. — *Eléments minéraux exportés par une culture de sorgho pour un rendement de 4 116 kg/ha de grains (Cameroun 1972, variété Damougari).*

Eléments (kg/ha)	N	S	P	K	Ca	Mg
Paille	24,7	9,9	10,7	151,5	14,8	13,2
Panicules	53,9	3,3	8,2	18,1	1,2	4,9
Total	78,6	13,2	18,9	169,6	16,0	18,1

Tableau 15. — *Eléments minéraux exportés par une culture de sorgho pour un rendement de 3 500 kg/ha de grains (Cameroun 1974, variété Damougari).*

Eléments (kg/ha)	N	S	P	K	Ca	Mg
Paille	15,0	3,3	3,1	57,4	8,1	6,3
Panicules	50,3	4,0	10,0	17,1	0,2	4,8
Total	65,3	7,3	13,1	74,5	8,3	11,1

Tableau 16. — *Éléments minéraux exportés par une culture de sorgho pour un rendement de 806 kg/ha de grains (Dahomey 1973-1974, variété locale).*

Eléments (kg/ha)	N	S	P	K	Ca	Mg
Paille	11,5	3,0	1,2	36,6	14,3	8,9
Panicules	15,0	1,1	1,4	3,8	1,0	1,8
Total	26,5	4,1	2,6	40,4	15,3	10,7

Arachide

Tableau 17. — *Éléments minéraux exportés par une culture d'arachide pour un rendement de 2 761 kg/ha en gousses fraîches (Dahomey 1973-1974, variété 48-37).*

Eléments (kg/ha)	N	S	P	K	Ca	Mg
Fanes	30,0	1,6	2,3	26,2	17,3	9,6
Gousses	47,9	1,7	2,5	9,8	1,4	2,3
Total	77,9	3,3	4,8	36,0	18,7	11,9

APPLICATIONS DE L'ÉTUDE DES EXPORTATIONS MINÉRALES

Prévision de l'évolution de la fertilité chimique d'un milieu

L'évolution des quantités d'éléments minéraux réellement exportés par les cultures peut donner une idée de la fumure minérale nécessaire pour reconstituer le stock utilisé. Cela revient, en fait, à établir un bilan minéral approché d'une rotation. Nous prenons comme exemple un assolement quadriennal étudié (6) au Dahomey :

- 1^{re} année : arachide fertilisée (P) ;
- 2^e année : coton fertilisé (NSPK) ;
- 3^e année : sorgho ;
- 4^e année : sorgho.

Cet assolement semi-intensif, avec fertilisation minérale légère et limitée à l'arachide et au coton (afin de rester dans les limites de la faible trésorerie du cultivateur), est assez représentatif des conditions actuelles de la culture manuelle en savane africaine. Après huit années de cultures (soit deux cycles quadriennaux), le bilan fertilisation-exports s'établit comme suit :

Tableau 18. — *Bilan minéral approché (*) d'un système de culture après huit années d'exploitation (Dahomey).*

Eléments (kg/ha)	N	S	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
Fertilisation	94	46	140	30	—	—
Exports	327	36	74	376	137	83
Bilan approché *	— 233	+ 10	+ 66	— 346	— 137	— 83

(*) Il s'agit d'un bilan approché, du fait de l'absence de certains termes de ce bilan : lixiviation, réorganisation, rétrogradation.

Ces chiffres permettent de mettre en évidence le défaut majeur de ce type de système de culture :

son important déficit en cations et en azote ; seuls P₂O₅ et S sont amenés en quantité suffisante.

Le maintien de la fertilité ne peut être assuré à long terme dans un tel système, et déjà la nutrition potassique est devenue déficiente, entraînant des baisses de rendement de l'ordre de 25 %. La fertilisation minérale doit être intensifiée ou bien les exportations minérales doivent être réduites.

Mise en évidence de l'intérêt d'enfouir les résidus de récolte

Les éléments minéraux exportés par les cultures ont deux composantes :

— la partie utile (exemple le coton-graine, les grains de sorgho, etc.);

— l'appareil végétatif de la plante (branches, tiges, carpelles, panicules, etc.).

Si les éléments minéraux contenus dans la partie utile sont définitivement perdus par le sol, par contre, il est possible de restituer de 40 à 90 % de certains éléments exportés, par l'enfouissement.

Le tableau 19 montre en particulier que l'enfouissement des pailles de sorgho contribuerait à maintenir la richesse cationique du sol et réduirait de près de moitié les prélèvements de P et N. Outre cet aspect purement minéral, l'enrichissement en matière organique serait probablement bénéfique.

Tableau 19. — Pourcentages d'éléments minéraux exportés par les résidus de récolte (% des exportations totales).

Plante	Résidus	N	S	P	K	Ca	Mg	Source
Cotonnier Var. BJA	Tiges + branches + carpelles	55	75	53	82	83	71	Cameroun 1972
Sorgho Var. locale ..	Pailles	43	73	46	91	93	81	Dahomey 1973-1974
Arachide Var. 48-37	Fanes	39	48	48	73	93	81	Dahomey 1973-1974

CONCLUSION

La mesure des exportations minérales d'une culture est soumise à de nombreuses sources de variation, dont nous avons essayé de dégager l'importance relative, afin de mettre au point une méthode d'évaluation à la fois simple et suffisamment précise.

Il ressort de cette étude que les principales causes de variabilité sont, par ordre d'importance décroissante :

a) les fluctuations de la quantité de matière sèche réellement exportée, et de la proportion relative du produit récolté et des résidus exportés ;

b) les variations de la composition élémentaire des différentes parties de la plante sous l'influence essentiellement des conditions écologiques de l'année (en particulier pour N et K) et, dans une moindre mesure, de la richesse chimique du milieu.

Ces observations conduisent à proposer une méthode de mesure des exportations qui s'appuie sur la détermination en deux temps, et pour chaque situation écologique :

a) des quantités de matière sèche exportées ;

b) de la composition élémentaire des différentes parties de plante exportées.

Cette méthode permet, avec une marge d'erreur acceptable, une évaluation relativement simple à mettre en œuvre des exportations minérales, dont l'intérêt se manifeste surtout dans l'interprétation d'études sur les systèmes de culture et l'évolution de la fertilité. En effet, elle permet le calcul de bilans minéraux approchés qui constituent, avec les analyses de terre et le diagnostic foliaire, un faisceau d'informations indispensables pour interpréter l'évolution des rendements dans des études de système de culture.

De plus, ces bilans minéraux permettent de prévoir une évolution de la fertilité bien avant qu'elle ne commence à se manifester sur d'autres tests (analyses de terre, analyses foliaires ou rendements) ; ce qui peut permettre d'organiser préventivement un programme de fertilisation minérale conservatrice, et d'orienter un programme de recherches intégré, susceptible d'être modifié ou adapté selon les résultats fournis, d'une part, par les deux autres types de contrôle analytique (analyse de sols et diagnostics foliaires) et, d'autre part, par les rendements des différentes cultures.

BIBLIOGRAPHIE

1. CHRISTIDIS et HARRISON, 1955. — Cotton Growing Problems.
2. M. BRAUD et P.Y. BOURCY, 1973. — Documents I.R.C.T. non publiés.
3. M. BRAUD, 1973-1974. — Rapport de mission au Cameroun. Documents I.R.C.T. non publiés.
4. G. SEMENT, 1973-1974. — Rapports de la section Recherche d'accompagnement en Côte d'Ivoire, Bouaké. Documents I.R.C.T. non publiés.
5. M. DEAT, 1973-1974. — Rapport de la section d'Agronomie de Côte d'Ivoire, Bouaké. Documents I.R.C.T. non publiés.
6. J. DUBERNARD, 1972 et 1974. — Rapports de la section d'Agronomie du Cameroun, Maroua. Documents I.R.C.T. non publiés.
7. A. JOLY, 1973-1974. — Rapports de la section d'expérimentation du Dahomey, Atacora. Documents I.R.C.T. non publiés.

SUMMARY

Traditionally, the estimation of the exports of mineral elements by crops is made from the yield of the useful part of the plants and export standards reduced to 1000 kg/ha of harvested product.

Some results obtained by the IRCT in tropical Africa (Cameroon, Ivory Coast and Dahomey), demonstrate that this method of calculating exports gives rise to considerable errors in the context of the semi-intensive agricultural practices in African savannahs.

Thus, an investigation of the principal causes of variability revealed the strong influence exerted by ecological factors on:

a) the quantity of dry matter actually exported, and the ratio: harvested product/production apparatus;

b) the elementary composition of the different parts of the plant (in particular as regards N and K).

These observations have led to a method being proposed, which is both simple to use and sufficiently precise, for measuring mineral exports for each particular ecological situation.

A number of results obtained with cotton, sorghum and groundnuts are described, as also an example of the application to the calculation of approximate mineral balance sheets which, together with soil analyses and foliar diagnosis, provide a group of facts which are essential to the study of mineral fertilization and fertility maintenance in African cultivation systems. These results also draw attention to the considerable quantities of cations and nitrogen mobilized by the harvest residues which, as a matter of practice, should be ploughed back into the land to limit the degradation of soils and economize fertilizers.

RESUMEN

Tradicionalmente, la estimación de las exportaciones de elementos minerales realizada por los cultivos, se hace a partir del rendimiento en parte útil y en normas aplicadas a una producción de 1000 kg/ha de producto cosechado.

Algunos resultados obtenidos por el I.R.C.T. en Africa Tropical (Camerun, Costa de Marfil y Dahomey), muestran que esta modo de cálculo conduce a errores groseros en el contexto de la agricultura semi-intensiva practicada actualmente en sabana africana.

En efecto, el estudio de las principales causas de variabilidad evidencia la gran influencia de los factores ecológicos sobre:

a) la cantidad de materia seca realmente exportada y la relación producto cosechado/aparato de producción,

b) la composición elemental de las diferentes partes de la planta (en particular para N y K).

Estas observaciones conducen a proponer un método de medida de las exportaciones minerales, aplicado a cada una de las situaciones ecológicas, cuya aplicación es a la vez simple y suficientemente precisa.

Se presentan algunos resultados obtenidos con el algodón, el sorgo y el cacahuate, así como un ejemplo de aplicación al cálculo de los balances minerales aproximados, que constituyen, con los análisis de tierra y el diagnóstico foliar, un conjunto de informaciones imprescindibles para el estudio de los problemas de fertilización mineral y de mantenimiento de fertilidad en el marco de los sistemas de cultivo africanos. Estos resultados insisten además a propósito de las cantidades considerables de cationes y nitrógeno movilizadas por los residuos de cosecha, cuyo enterramiento sería una práctica esencial para limitar la degradación de los suelos y ahorrar abono.